Über die Anzahl der Sehnervenfasern und der Retinazapfen im Auge des Menschen.

Von **Fritz Salzer.**

(Aus dem physiologischen Institute der Wiener Universität.)

Es knüpft sich ein begreifliches Interesse daran, das relative Zahlenverhältniss der Opticusfasern einerseits und der Zapfen der Retina andererseits zu kennen. Es sind meines Wissens bis jetzt keine eingehenderen Untersuchungen über diesen Gegenstand bekannt geworden. Die einzige mir bekannte, vergleichende Schätzung der Zahl der Opticusfasern und der der Zapfen ist die von W. Krause. Er schätzt die Zahl der Opticusfasern auf wenigstens 1 Million, die der Zapfen auf 7 Millionen.

Die Anzahl der Retinastäbchen beträgt seiner Ansicht nach etwa 130 Millionen. (W. Krause, Allgemeine und mikroskopische Anatomie. Hannover 1876.)

Es finden sich bei ihm bloss die Schätzungszahlen, es fehlt eine Angabe darüber, worauf die Schätzungen beruhen.

Für uns handelt es sich in erster Linie darum, zu ermitteln, ob überhaupt die Zahl der Zapfen der Retina grösser ist, als die der Nervenfasern im Opticus. In zweiter Linie ist dann das Zahlenverhältniss zwischen Zapfen und Fasern, so weit möglich genauer festzustellen. Das Mittel, dasselbe zu erkennen, ist die Zählung sowohl der Zapfen in der ganzen Retina, als auch der Nervenfasern im Opticus-Querschnitte. Das Zählen in dieser Ausdehnung ist natürlich nicht möglich, wogegen mit Leichtigkeit Bruchtheile der beiden Gesammtflächen durchgezählt werden können.

Solche Zählungen wurden ausgeführt an Querschnitten von Sehnerven erwachsener Menschen und an Netzhäuten reifer, neugeborener Kinder. Die Netzhaut des erwachsenen Menschen ist

zur Zeit, wo die Section vorgenommen werden darf, schon nicht mehr zur Zählung brauchbar. Die Netzhaut des Neugeborenen aber, welche unmittelbar nach dem Tode zur Untersuchung gelangt, ist zur Zählung sehr gut zu verwenden. Beim neugeborenen Kinde ist die Stäbchen-Zapfenschicht bereits vollkommen entwickelt. (M. Schultze, Archiv, 1866.) Es ist daher wohl nicht anzunehmen, dass im späteren Lebensalter eine Änderung in der Zahl der Zapfen stattfindet und die Übertragung der Zahlenwerthe der Zapfen, wie sie am Kinde bestimmt werden, auf den Erwachsenen dürfte kaum für unberechtigt gehalten werden. Jedenfalls kann diese Übertragung das Hauptresultat nicht verdächtigen, da Niemand annehmen wird, dass während des Wachsthums die Zahl der Zapfen abnehme.

Die Zahl der Opticusfasern wurde an drei Sehnerven verschiedener erwachsener Individuen bestimmt und zwar an Querschnitten des Orbitaltheiles, welche nie in unmittelbarer Nähe des Bulbus geführt waren. Es wurde darauf geachtet, dass die Schnittfläche möglichst senkrecht stand auf der Längsrichtung des Opticus. Der Nerv wurde möglichst frisch aus der Leiche genommen, und, nachdem die Scheide abpräparirt worden war, zwei Tage hindurch in 1% Überosmiumsäure gefärbt, hierauf in Müller'scher Flüssigkeit nachgehärtet.

Die Zählung (mittelst Hartnack, Ocular 3, Object 8) beschränkte sich auf *a*, das ist ein kleines Areale, welches dadurch abgegrenzt war, dass sich in der Blendung des Oculares ein Quadrat aus Spinnwebfäden befand, dessen Bildwerth mittelst Glasmikrometer bestimmt war.

Es wurde natürlich bloss an solchen Stellen des Querschnittes gezählt, an welchen die Fasern mit besonderer Klarheit von einander zu unterscheiden waren. Man kommt aber auch an solchen Stellen das eine oder andere Mal auf ein Bild einer Nervenfaser, welches nicht völlig überzeugend ist. Es wurde in solchen Fällen diese zweifelhafte Nervenfaser immer als Nervenfaser mitgezählt. Denn, vorausgesetzt, dass dadurch überhaupt ein Fehler entstand, so bewirkt dieser jedenfalls sehr kleine Fehler, dass der schliesslich gefundene Werth für die Zahl der Opticusfasern um Weniges zu gross ist. Die Überzeugung, dass die Zahl der Opticusfasern gewiss nicht zu klein bestimmt ist, ist für die Entscheidung der

Frage, ob die Zahl der Zapfen grösser ist, als die der Opticusfasern von entscheidender Bedeutung.

Ein und dieselbe Stelle wurde zwei und mehrere Male durchgezählt und der Mittelwerth für die betreffende Stelle berechnet. Aus den Mittelwerthen für die einzelnen Stellen wurde f, der Mittelwerth der Faserzahl innerhalb a für den ganzen Querschnitt berechnet.

Um den Flächeninhalt des Querschnittes zu erfahren, wurde derselbe mit einem nach dem Principe der Camera obscura gebauten Zeichenapparate vergrössert gezeichnet. Im Querschnitte wurde die Entfernung zweier gegenüber liegender Punkte der Peripherie mittelst Glasmikrometer gemessen. Der erhaltene Wert sei e. In der Zeichnung wurden zwei den obigen entsprechende Punkte markirt und deren Entfernung mittelst Millimetermassstab bestimmt; sie sei E. Der Flächeninhalt der Zeichnung wurde mit dem Planimeter von Weltli gemessen. Es ist nun Z, das Areale der Zeichnung bekannt, ferner e und E. Aus diesen Werthen kann X das Areale des Opticus-Querschnittes berechnet werden nach der Gleichung $X:Z = e^2:E^2$ also nach der Formel $X = Z\left(\frac{e}{E}\right)^2$

Für die Berechnung der Faserzahl ist der Werth X nicht direct zu verwenden. Denn f resultirt aus Zählungen, die sich immer auf solche Stellen beziehen, an welchen kein Bindegewebsstrang verlief. Es muss daher das Areale der Querschnitte der Bindegewebssepta im Querschnitt von X abgerechnet werden. Das Bindegewebsareale wurde zweimal mit verschiedenem Resultate bestimmt, und zwar beide Male in der Weise, dass ein Theil des Querschnittes vergrössert gezeichnet wurde. Es wurde die Begrenzungslinie des Sehfeldes des Mikroskopes und die der einzelnen Bindegewebssepta im Sehfelde auf Papier gezeichnet. Die Zeichnung wurde auf dickes und sehr gleichmässig gearbeitetes Stanniol übertragen, indem das Papier auf das Stanniol gelegt und nun die Linien der Zeichnung mit einer Spitze in Stanniol eingedrückt wurden. Die Zeichnung wurde hierauf aus Stanniol ausgeschnitten. Die ganze ausgeschnittene Zeichnung und hierauf die ausgeschnittenen Zeichnungen der Bindegewebssepta allein wurden gewogen. Das Verhältniss der Gewichte beider war zugleich das Verhältniss des Flächeninhaltes des gesammten Querschnittes

zum Bindegewebsareale. Das erste Mal wurde dieses Verhältniss bestimmt aus einer Zeichnung, die bei so schwacher Vergrösserung angefertigt war, dass nur die Breitendimension der dicksten Bindegewebssepta dargestellt werden konnte. Die feineren erschienen nur als Linien und konnten daher nicht ausgeschnitten werden; sie wurden desshalb vernachlässigt, indem der ihnen zukommende Flächenraum für sehr klein geschätzt wurde. Der auf diese Weise erhaltene Werth für das Bindegewebsareale sei b.

Das zweite Mal wurde aber bei stärkerer Vergrösserung (Hartnack, Oc. 3, Obj. 5) gezeichnet; es konnten alle Bindegewebssepta ausgeschnitten werden und es zeigte sich, dass die Grösse des Areales der feineren bedeutend unterschätzt worden war. Es wird daher bei der Berechnung des wahrscheinlichen Werthes der Opticusfasern der zweite ermittelte Werth für die Bindegewebssepta, der mit B bezeichnet ist, in Rechnung genommen.

Wenn man von X den Werth B abrechnet, erhält man einen Werth A

$$A = X - B$$

Da die Faserzahl f bloss für einen Bruchtheil von A, nämlich für a bestimmt ist, so ist F der Werth der Zahl aller Fasern im Opticus-Querschnitte zu berechnen nach der Formel

$$F = f\frac{A}{a}.$$

Der wahrscheinliche Werth der Faserzahl des 1., 2. und 3. Opticus wird mit $F_{,}$, $F_{,,}$ und $F_{,,,}$ bezeichnet.

Berechnung der Faserzahl des 1. Opticus.

$$a = 0{\cdot}002862\,\square^{mm}$$

Die Mittelwerthe der Faserzahlen innerhalb a für verschiedene Stellen des Querschnittes sind 153, 210, 211, 198, 209, 154, 192. Daraus resultirt die Zahl 189·5 als Mittelwerth für die Faserzahl in je 0·002862$\square^{mm}$ des Querschnittes.

$$f = 189{\cdot}5$$

Um den Flächeninhalt des Querschnittes zu erfahren, wurden zwei Querschnitte angefertigt und gezeichnet. Das Areale jedes Querschnittes wurde aus dem Areale der Zeichnung desselben in der oben angegebenen Art berechnet.

Der Werth des Areales des einen Querschnittes sei $X_{,}$, das des anderen $X_{,,}$.

Berechnung von $X_{,}$.

$e = 90\,sc$, d. i. 90 Scalen-Theilstriche des Massstabes im Ocular; $30\,sc$ entsprechen $0{\cdot}98^{\text{mm}}$ demnach

$$e = 2{\cdot}94^{\text{mm}}$$
$$E = 14{\cdot}75^{\text{mm}}$$

Die Messung mittelst des Planimeters ergab für Z die Werthe: 177, 190, 179, 178, 180, 184, 182, 185, 185, 182, 186, 181, 180, 184, 185, 181 als Mittel $182{\cdot}4\square^{\text{mm}}$.

Bei späteren planimetrischen Messungen wurden dieselben nie mehr so oft wiederholt, weil die erhaltenen Werthe nicht mehr so weit differirten.

$$Z = 182{\cdot}4\square^{\text{mm}}$$
$$X_{,} = 7{\cdot}25\square^{\text{mm}} \quad \text{Areale des 1. Querschnittes.}$$

Berechnung von $X_{,,}$.

$$e = 2{\cdot}94^{\text{mm}}$$
$$E = 15^{\text{mm}}$$

Planimetrische Messungen ergaben für Z die Werthe: 184, 182, 182, 180, 186, 185, 185, 182, 184; als Mittelwerth $183{\cdot}3\square^{\text{mm}}$

$$Z = 183{\cdot}3\square^{\text{mm}}$$
$$X_{,,} = 7{\cdot}03\square^{\text{mm}}$$

$X_{,,}$ wird in Rechnung genommen, da der kleinere Werth des zweiten Querschnittes darauf hinweist, dass derselbe genauer senkrecht auf die Längsaxe des Opticus geführt ist.

Von $X_{,,}$ ist das Areale der Bindegewebssepta abzurechnen; dasselbe wurde berechnet nach einer Zeichnung der Bindegewebssepta, die bei schwacher Vergrösserung angefertigt war.

Das Gewicht der ganzen ausgeschnittenen Zeichnung beträgt 1·0692 Grm.

Das Gewicht der ausgeschnittenen Zeichnung der dicksten Bindegewebssepta 0·0291 Grm.

Das Areale des Bindegewebes im Querschnitt ist b.

$$b : X_{,,} = 0·0291 : 1·0692$$
$$b = 0·027\ X_{,,}$$
$$A = X_{,,} - b$$
$$A = 6·84 \square^{mm}$$
$$F = f \frac{A}{a}$$
$$F = 454,\ 610.$$

Wie früher erwähnt, wurde das Bindegewebsareale noch einmal und genauer berechnet, und zwar beim 3. Opticus. Daselbst wurde der Werth für das Bindegewebsareale im ganzen Querschnitte auf $B = 0·109\ X$ berechnet.

Demnach beim 1. Opticus

$$B = 0·109\ X_{,,}$$
$$A = 0·888\ X_{,,}$$
$$A = 6·242 \square^{mm}$$

$F_{,} = 413{,}300$ der wahrscheinliche Werth der Zahl der Nervenfasern des 1. Opticus.

Berechnung der Faserzahl des 2. Opticus.

$$a = 0·003249 \square^{mm}$$

Die mittleren Werthe für die an den einzelnen Stellen des Querschnittes innerhalb a ausgeführten Zählungen sind 199, 195, 210, 217, 175, 180, 199, 178, 182. Die drei letzten Zahlen beziehen sich auf Stellen, an denen die Zählung mit grösster Genauigkeit möglich war, wogegen die hohen Werthe 210 und 217 gerade Stellen zukommen, an welchen einige Bilder als Nervenfasern gezählt werden mussten, welche nicht vollkommen überzeugend waren. Es wurde daher der Mittelwerth der drei letzten Zahlen 186 in Rechnung genommen; ich will bei der Berechnung der Faserzahl nur in Parenthese die Zahl für $f = 193$, den Mittelwerth aus allen obigen Werthen beifügen.

$$f = 186.$$

Berechnung des Areales des Querschnittes:

Planimetrische Messungen ergaben für Z: 1484, 1492, 1477, 1476, 1477, 1488, 1484, 1492, als Mittelwerth: 1484 $\square^{mm}$

$$Z = 1484\square^{mm}$$
$$e = 99^{sc};\ 30^{sc} = 1^{mm}$$
$$e = 3{\cdot}3^{mm}$$
$$E = 42^{mm}$$
$$X = 9{\cdot}16\square^{mm}$$

Das Areale der Bindegewebssepta im Querschnitte wurde für diesen Opticus nicht speciell berechnet. Es wurde zuerst der gewiss zu niedere Werth b, wie er beim 1. Opticus berechnet war, in Rechnung genommen.

$$b = 0{\cdot}027\,X \text{ und da } A = X - b$$
$$A = 8{\cdot}92\square^{mm}$$
$$F = 510{,}756$$
$$[F = 529{,}978].$$

Wird der sicherlich der Wahrheit mehr entsprechende Werth B in Rechnung genommen, so ist

$$A = 0{\cdot}888\,X$$
$$A = 8{\cdot}134\square^{mm}$$
$$F_{\prime\prime} = 465{,}558$$
$$[F = 483{,}079].$$

Der wahrscheinliche Werth der Faserzahl des 2. Opticus ist demnach: 465,558.

Berechnung der Faserzahl des 3. Opticus. (20jähriges Weib.)

$$a = 0{\cdot}003249\square^{mm}$$

Die mittleren Werthe für die Faserzahl innerhalb a an verschiedenen Stellen sind: 182, 173, 151, 177, 150, 159, 132, 165, daraus das Mittel: 161.

$$f = 161.$$

Planimetrische Messungen dreier Zeichnungen von drei Querschnitten ergaben die Zahlen: 1. 1052, 1047; 2. 1014, 1016; 3. 1023, 1024; als Mittelwerth resultirt die Zahl: 1029.

$$Z = 1029\square^{mm}$$
$$e = 100^{sc};\ 29^{sc} = 1^{mm}$$
$$e = 3{\cdot}4^{mm}$$
$$E = 34{\cdot}75^{mm}$$
$$X = 9{\cdot}87\square^{mm}$$

Sämmtliche Bindegewebssepta eines Theiles des Querschnittes wurden mittelst Camera lucida gezeichnet. Es beschränkte sich diese Zeichnung auf das Sehfeld des Mikroskopes (Hartnack, Oc. 3, Obj. 5). Zwei verschiedene Stellen wurden gezeichnet, die beiden Zeichnungen auf Stanniol übertragen, ausgeschnitten und gewogen.

Das Gewicht der ersten ausgeschnittenen Zeichnung war 1·5176 Grm.

Das Gewicht der Zeichnung des zugehörigen Bindegewebs-areales war 0·1653 Grm.

Das Areale der ersten Zeichnung sei $S_{,}$, das Areale des Bindegewebes in $S_{,}$ sei $B_{,}$ so verhält sich

$$S_{,} : B_{,} = 1·5176 : 0·1653$$

da ferner $X : B = S_{,} : B_{,}$

und $A = X - B$

so ist $A = 0·891\,X.$

Das Gewicht der ganzen zweiten Zeichnung war 1·0362 Grm.

Das des Bindegewebes 0·1190 Grm.

$S_{,,}$ und $B_{,,}$ sei wieder das Areale der ganzen Zeichnung und das des Bindegewebes in $S_{,,}$

$$S_{,,} : B_{,,} = 1·0362 : 0·1190$$

$$X : B = S_{,,} : B_{,,}$$

$$A = X - B$$

$$A = 0·885\,X.$$

Aus den ersten und zweiten für A gerechneten Werthen resultirt als Mittelwerth:

$$A = 0·888\,X$$

demnach $A = 8·764\,\square^{mm}$

$F_{,,,} = 434{,}378$ der wahrscheinliche Werth der Faserzahl des 3. Opticus.

Der wahrscheinliche Werth der Faserzahl

des 1. Opticus beträgt 413,300

„ 2. „ „ 465,558

„ 3. „ „ 434,378

demnach kommen auf jeden Opticus im Durchschnitte 437,745 Fasern.

Es ist daher der wahrscheinliche Werth der Nervenfasern im menschlichen Opticus in runder Zahl 438,000.

Diese Zahl stimmt mit keiner der beiden mir bekannten Schätzungszahlen der Opticusfasern überein. Wie früher erwähnt, hat W. Krause dieselben geschätzt, und zwar meint er, dass „die Zahl der Nervenfasern im Opticusstamm wenigstens auf 1 Million geschätzt werden kann".

Da mir nicht bekannt ist, worauf die Schätzung Krause's beruht, kann ich dieselbe auch nicht kritisiren, ich will nur darauf aufmerksam machen, dass seine Zahl mehr als doppelt so gross ist als die von mir gefundene.

Kuhnt (zur Kenntniss des Sehnerven und der Netzhaut, in Gräfe's Archiv für Ophthalmologie, 1879) schätzt die Zahl der Fasern an der Stelle des chorioidealen Ringes bloss auf 31,400 bis 40,000. Die Schätzung, welche der meinigen gegenüber um das Zehnfache zu niedrig ausfällt, beruht auf 2 Zählungen der Fasern im Durchmesser von 2 Sehnerven, von welchen der eine einer Frühgeburt, der andere einem fünfzigjährigen Individuum entnommen war. Die Berechnung geschah nach der Formel $r^2\pi$; für r wurde die Anzahl der Fasern im Radius gesetzt.

Als Materiale für die Zählung der Zapfen der Netzhaut dienten frische Netzhäute von reifen neugeborenen Kindern. Um die Netzhaut möglichst vollständig loszupräpariren, wurde das Auge mit der Cornea nach unten auf einem enghalsigen Fläschchen fixirt. Sclera und Chorioidea wurden durch mehrere von der Eintrittsstelle des Opticus gegen den Cornealrand geführte Schnitte durchtrennt und die Lappen nach unten umgeschlagen. Die unverletzte Retina wurde hierauf am Sehnerven als Stiel etwas gehoben und gleichzeitig an der Ora serrata lospräparirt. Während nun die Retina noch auf dem Glaskörper wenig emporgehoben war, wurde dieser ganz vorne mit der Scheere abgekappt. Hierauf wurde der abgekappte hintere Theil des Glaskörpers sammt der auf demselben ruhenden Netzhaut auf den Objectträger gebracht und der Opticus an der Eintrittsstelle in die Retina abgeschnitten. Um die Retina flach ausbreiten zu können und um dabei verschiedene Spannungen möglichst zu vermeiden, wurde sie durch mehrere

von der Ora serrata gegen die Fovea centralis zielende Schnitte in Lappen zerschnitten und schliesslich der Glaskörper unter ihr hervorgezogen. Wird die Retina in dieser Weise innerhalb der ersten 3 Stunden nach dem Tode in Glaskörperflüssigkeit ausgebreitet, so kann sehr genau und leicht innerhalb eines kleinen Areales gezählt werden. Man erkennt die Zapfen bei oberflächlicher Betrachtung als helle Lücken in dunklerem Grunde. Man erkennt ferner mit Leichtigkeit die einzelnen Zapfenstäbchen als kurze Stiftchen im Centrum der hellen Lücken, wie sie Henle an der frischen Netzhaut des Erwachsenen schildert. (J. Henle, Versuche und Beobachtungen an einem Enthaupteten, in Henle und Pfeufer's Zeitschrift für rationelle Medicin. 1852. 2.) Es konnte kein allgemeines Gesetz in der Vertheilung der Zapfen auf der Retina ausfindig gemacht werden. Nur die bedeutende Zunahme der Zapfenzahl im Umkreise der Fovea centralis war regelmässig zu erkennen. In der Fovea selbst konnte bei 3 Netzhäuten gezählt werden, es wären daselbst nach den erhaltenen Werthen 132—138 Zapfen auf 0·01□^{mm} zu rechnen. Besonderer Werth wurde auf die Untersuchung der vordersten Randpartien der ausgebreiteten Retina gelegt, um die Überzeugung zu erlangen, dass bloss solches Gewebe ausgebreitet war, an welchem die Zapfen deutlich ausgebildet waren.

Bei jeder Netzhaut wurde an möglichst vielen Stellen ein kleines Areale, welches später mit *a* bezeichnet ist, durchgezählt. Die erhaltenen Werthe für die Zapfenzahl innerhalb *a* zeigen bedeutende Schwankungen. Da die Stellen, an welchen gezählt wurde, nicht gleichmässig über die ganze Netzhaut vertheilt sind, — sehr viele Zahlen beziehen sich auf die vordersten Randpartien — so kann aus den erhaltenen Werthen begreiflich kein Mittelwerth gerechnet werden, um aus demselben den wahrscheinlichen Werth der Zahl aller Zapfen zu berechnen. Dass man nicht von Stelle zu Stelle in immer gleichbleibender Entfernung zählen kann, hat darin seinen Grund, dass immer einige Partien schlechter erhalten sind, und die Retina überdies auch während der Untersuchung allmälig zu Grunde geht, so dass nach einiger Zeit die Untersuchung überhaupt abgebrochen werden muss. Es wurde daher bei jeder Netzhaut bloss das Minimum und ein Maximum der Zapfenzahl berechnet.

Für die Minimum-Berechnung wurde der kleinste erhaltene Werth für die Zapfenzahl innerhalb a in Rechnung genommen.

Für die Maximum-Berechnung wurden aber, wenn im Umkreise der Fovea gezählt worden war, nicht die höchsten erhaltenen Werthe verwendet, denn diese beziehen sich dann nur auf ein sehr kleines Gebiet in unmittelbarer Nähe der Fovea. Es wurde der kleinste derjenigen Zahlenwerthe in Rechnung genommen, von denen man mit voller Bestimmtheit sagen konnte, dass sie zu gross seien, um für die betreffende Retina als Mittelwerth der Zapfenanzahl in Rechnung genommen zu werden. Es konnte dies aus der Art und Weise der Vertheilung der Werthe für die Zapfenzahl innerhalb a über die ganze Retina erkannt werden.

Ist das Maximum und Minimum der Zapfenzahl in der eben angegebenen Art berechnet, so hat man wohl das Recht, anzunehmen, dass der wahrscheinliche Werth der Zapfenanzahl für die betreffende Retina beiläufig in der Mitte zwischen dem berechneten Maximum und Minimum liege.

Um den Flächeninhalt der ausgebreiteten Retina zu bestimmen, wurde dieselbe entweder noch im feuchten Zustande oder nach dem Eintrocknen in natürlicher Grösse abgezeichnet und das Areale der Zeichnung mittelst des Planimeter von Weltli gemessen. Es wurde meist nach dem Eintrocknen gezeichnet, da beim Eintrocknen auf dem Glase eine nur sehr geringe Abnahme des Flächeninhaltes zu bemerken ist und die Zeit, welche für das Zeichnen im feuchten Zustande verwendet wird, für das Zählen verloren geht; es kann nämlich meistens in den mittleren Partien noch zu einer Zeit gezählt werden, während welcher die Randpartien schon eintrocknen. Einige Male wurde das Areale der Retina direct gemessen, indem den Contouren der eingetrockneten Retina auf dem Objectträger mit dem Stift des Planimeters nachgefahren wurde.

Der blinde Fleck wurde entweder, wenn dies möglich war, gleich bei der Planimeter-Messung ausgelassen, oder, wenn er mitgemessen wurde, so wurde sein Areale nachträglich bestimmt und von dem zuerst gefundenen Areale subtrahirt.

R ist das Areale der Retina ohne den blinden Fleck.

Die Zapfenzahl wurde berechnet nach der Formel $Z = n\frac{R}{a}$, worin Z die Zahl der Zapfen der ganzen Retina, R das Areale

der Retina ohne den blinden Fleck, a das durchgezählte kleine Areale (welches dadürch abgegrenzt war, dass sich im Ocular ein Quadrat aus Fäden befand), n die Anzahl der Zapfen innerhalb a, bedeutet.

Gezählt wurde mit Hartnack, Oc. 3, Obj. 8.

Im Folgenden bedeuten z_1, z_2, z_3 etc. die Minima, Z_1, Z_2, Z_3 etc. die Maxima der Zapfenzahl der 1., 2., 3. etc. Retina.

Berechnung der Zapfenanzahl der 1. Netzhaut.

Diese Berechnung ist die einzige, bei welcher nicht genau nach der soeben beschriebenen Methode vorgegangen wurde. Es wurden zur Berechnung beide Augen eines Individuums verwendet; die eine Retina wurde zur Zählung, die andere zur Messung des Areales verwendet.

Zur Zählung wurden einzelne Partien der einen Netzhaut in Glaskörperflüssigkeit ausgebreitet und in ihnen gezählt.

Die Werthe für n in einer Partie, welche die Fovea enthielt, sind 32, 30, 29, 29, 27, 26, 25. Die Werthe für n in anderen Partien sind: 26, 26, 26, 26, 26, 26, 24, 23, 22, 22, 22, 22, 22, 22, 22, 22, 21, 21, 21, 21.

Zur Bestimmung des Flächeninhaltes wurde die ganze Netzhaut des zweiten Auges lospräparirt, ausgebreitet und im feuchten Zustande gezeichnet, hierauf das Areale der Zeichnung gemessen

$$R = 433\,\square^{\text{mm}}$$
$$a = 0\cdot003025\,\square^{\text{mm}}$$

Das Minimum der Zapfen wurde berechnet für

$$n = 21$$
$$z_1 = 3{,}005{,}100 \text{ Zapfen.}$$

Das Maximum der Zapfen wurde berechnet für

$$n = 26$$
$$Z_1 = 3{,}720{,}600 \text{ Zapfen.}$$

Berechnung der Zapfenanzahl der 2. Netzhaut.

Diese und alle folgenden Berechnungen beruhen auf Zählungen und Messungen, die an ein und derselben Netzhaut ausgeführt wurden.

$$a = 0\cdot003249\square^{\text{mm}}$$

Die Werthe für n sind: 35, 34, 34, 33, 25, 25, 25, 24, 24, 24, 22, 22, 22, 21, 19.

Die ausgebreitete Retina wurde nach dem Eintrocknen gezeichnet, das Areale der Zeichnung gemessen.

$$R = 360\square^{\text{mm}}$$

Bei dieser Retina fehlen einige Quadratmillimeter der vordersten Partien.

Das Minimum wurde berechnet für

$$n = 19$$
$$z_2 = 2{,}105{,}200 \text{ Zapfen.}$$

Das Maximum wurde berechnet für

$$n = 26$$
$$Z_2 = 2{,}880{,}800 \text{ Zapfen.}$$

Die Retina des zweiten Auges von demselben Individuum wie die obige, wurde gleichfalls untersucht, die Werthe für n stimmen mit den oben angeführten gut überein. Es konnte in der Fovea centralis gezählt werden, hier war $n = 43$. Die Berechnung der Gesammtmenge der Zapfen musste unterbleiben, da das Areale der Retina nicht ermittelt werden konnte, weil dieselbe unvollständig lospräparirt worden war.

Berechnung der Zapfenanzahl der 3. Netzhaut.

$$a = 0\cdot003249\square^{\text{mm}}$$

Die Werthe für n sind: 41, 37, 32, 28, 28, 28, 27, 27, 26, 26, 24, 21, 21.

Die Retina wurde nach dem Eintrocknen gezeichnet, das Areale der Zeichnung gemessen.

$$R = 404\square^{\text{mm}}$$

Das Minimum berechnet für $n = 21$

$Z_3 = 2{,}604{,}000$ Zapfen.

Das Maximum berechnet für $n = 28$

$Z_3 = 3{,}472{,}000$.

Berechnung der Zapfenanzahl der 4. Netzhaut.

Die 4. Retina war von demselben Individuum wie die 3 Retina.

$$a = 0{\cdot}003249 \square^{mm}$$

Die Werthe für n sind: 36, 31, 31, 29, 29, 29, 28, 27, 25, 23, 23, 23, 22.

Die Retina wurde noch im feuchten Zustande abgezeichnet, das Areale der Zeichnung gemessen.

$$R = 459 \square^{mm}$$

Das Minimum berechnet für $n = 22$

$z_4 = 3{,}106{,}400$ Zapfen.

Das Maximum berechnet für $n = 29$

$Z_4 = 4{,}094{,}800$ Zapfen.

Berechnung der Zapfenanzahl der 5. Netzhaut.

$$a = 0{\cdot}003249 \square \text{ Mm.}$$

Die Werthe für n sind: 45 (in der Fovea centralis), 33, 27, 27, 26, 26, 26, 25, 25, 24, 24, 22, 18, 18.

Das Areale der eingetrockneten Retina wurde direct mittelst Planimeters gemessen.

$$R = 499 \square^{mm}$$

Das Minimum berechnet für $n = 18$

$z_5 = 2{,}764{,}800$ Zapfen.

Das Maximum berechnet für $n = 27$

$Z_5 = 4{,}147{,}200$ Zapfen.

Berechnung der Zapfenanzahl der 6. Netzhaut.

Diese Netzhaut ist von demselben Individuum wie die 5. Netzhaut.

$$a = 0{\cdot}003249 \square^{mm}$$

Die Werthe für n sind: 26, 26, 26, 25, 25, 24, 24, 23, 23, 22, 22, 22, 22, 22.

Das Areale der eingetrockneten Retina wurde direct gemessen. Es fehlte hier ein kleiner Bruchtheil des Areales, weil ein schmaler Streifen der vordersten Partie beim Lospräpariren zerstört worden war.

$$R = 476 \square^{mm}$$

Das Minimum der Zapfenanzahl berechnet für

$$n = 22$$

$$z_6 = 3{,}212{,}000 \text{ Zapfen.}$$

Das Maximum berechnet für $n = 26$

$$Z_6 = 3{,}796{,}000 \text{ Zapfen.}$$

Berechnung der Zapfenanzahl der 7. Netzhaut.

$$a = 0{\cdot}003249 \square^{mm}$$

Die Werthe für n sind: 45 (in der Fovea), 36, 35, 35, 32, 29, 28, 28, 28, 27, 27, 25, 25, 25, 24, 24, 24, 24, 24, 21, 21, 21, 21, 19, 19, 19, 18, 18.

Das Areale der eingetrockneten Retina wurde direct gemessen.

$$R = 444 \square^{mm}$$

Das Minimum der Zapfenanzahl berechnet für

$$n = 18$$

$$z_7 = 2{,}460{,}600 \text{ Zapfen.}$$

Das Maximum berechnet für $n = 29$

$$Z_7 = 3{,}964{,}300 \text{ Zapfen.}$$

Bezüglich der Vertheilung der Zapfen bemerke ich im Anschluss an die Untersuchung der 7. Retina, dass die kleinsten Werthe für die Zapfenanzahl innerhalb a keineswegs gerade auf die vordersten Partien der Retina zu beziehen sind, sondern dass sie sich auf eine Region in der Nähe des Sehnerveneintrittes, und zwar nasalwärts von demselben beziehen.

In den vorderen Randpartien konnten einmal sogar 29 Zapfen innerhalb a gezählt werden. Es mag daran aber auch theilweise die verschiedene Spannung in den verschiedenen Theilen schuld sein.

Der wahrscheinliche Werth für die Zahl der Zapfen der einzelnen untersuchten Netzhäute liegt für mich ungefähr in der Mitte zwischen den betreffenden Maximal- und Minimalzahlen, also

für die 1. Retina	bei	3,362850
„ 2. „	„	2,493000
„ 3. „	„	3,038000
„ 4. „	„	3,600600
„ 5. „	„	3,456000
„ 6. „	„	3,504000
„ 7. „	„	3,212450

Um nun den wahrscheinlichen Werth der Zapfenanzahl im Allgemeinen zu bestimmen, berechne ich das Mittel aus den fünf letzten Werthen.

Den ersten Werth verwende ich desshalb nicht, weil er aus Messungen und Zählungen resultirt, die sich nicht auf eine und dieselbe Retina beziehen, sondern auf beide Netzhäute eines und desselben Individuums.

Den zweiten Werth lasse ich desshalb weg, weil bei der Präparation der betreffenden Netzhaut eine, wenn auch kleine, so doch in der Rechnung schon nicht mehr zu vernachlässigende Partie verloren ging.

Der wahrscheinliche Werth für die Anzahl der Zapfen der menschlichen Netzhaut ist nach dieser Rechnung 3,362210. In Rücksicht auf die Schwankungen der Einzelwerthe kann man sagen, er liege zwischen 3 und 3·6 Millionen.

W. Krause schätzt, wie erwähnt, die Zahl der Zapfen auf 7 Millionen. Der von ihm vorausgesetzte Werth ist also wieder doppelt oder mehr als doppelt so gross.

Der Vergleich des wahrscheinlichen Werthes der Zahl der Opticusfasern mit dem der Anzahl der Zapfen der Retina zeigt, dass eine Faser gewiss mehrere Zapfen versorgen muss.

Berechnet man das Maximum der Opticusfasern und das Minimum der Zapfen und vergleicht beide, so ergibt sich noch immer ein Verhältniss wie 1 : 3.

Zur Berechnung des Maximum der Opticusfasern verwende ich den zweiten Opticus, denn hier ist schon der Mittelwerth

grösser als bei den anderen. Überdies ist hier das Bindegewebe nicht speciell berechnet; wenn man daher jedem Einwand vorbeugen will, muss dasselbe ganz vernachlässigt werden.

Für f wird natürlich der grösste Werth 217 gesetzt.

$A = 9{\cdot}16\,\square^{mm}$ $\qquad a = 0{\cdot}003249\,\square^{mm}$

$$F = 217\,\frac{A}{a}$$

$F = 611{,}940$; dies ist mein Maximum der Opticusfaseranzahl.

Das Minimum der Zapfenanzahl ist z_2; es ist dies der kleinste unter den Minimalwerthen aller 7 untersuchten Netzhäute.

$$z_2 = 2105200$$

$$F : z_2 = 611{,}940 : 2{,}105{,}200 = 1 : 3{\cdot}4.$$

Eine Opticusfaser ist daher wenigstens mit 3 Zapfen in Verbindung.

Der wahrscheinliche Werth der Zahl der Opticusfasern ist 438,000, der wahrscheinliche Werth der Zahl der Zapfen der Retina ist 3,360,000, demnach das wahrscheinliche Verhältniss der Fasern zu den Zapfen $F : Z = 438 : 3360 = 1 : 7{,}67$, oder wenn angenommen wird, dass der wahrscheinliche Werth der Zapfenanzahl zwischen 3 und 3·6 Millionen liegt, so ergibt sich, dass eine Opticusfaser 7 bis 8 Zapfen versorgt, vorausgesetzt, dass alle Opticusfasern mit Zapfen verbunden sind und sich gleichmässig in dieselben theilen.
